



PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN SUSPensi SEPEREMPAT KENDARAAN (*QUARTER CAR*)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Kelulusan Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau



OLEH:

M FIQIH ALRASYID
11555100360

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM
PEKANBARU
RIAU
2021**



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN SUSPENSI SEPEREMPAT KENDARAAN (*QUARTER-CAR*)

TUGAS AKHIR

Oleh :

M FIOIH ALRASYID

11555100360

Periksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 19 Januari 2021

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Isnaredah, S. Kom., M.Kom
NID. 19750922 200912 2 002

Pembimbing

Halim Mudia ST., MT
NIK. 130517053



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN SUSPENSI SEPEREMPAT KENDARAAN (*QUARTER-CAR*)

TUGAS AKHIR

Oleh :

M FIOIH ALRASYID

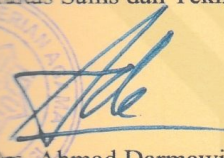
11555100360

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Di Pekanbaru, pada tanggal 19 Februari 2021

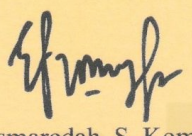
Pekanbaru, 19 Februari 2021

Mengesahkan,

Dekan
Fakultas Sains dan Teknologi

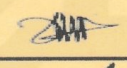

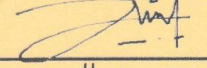
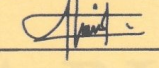

Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi
Teknik Elektro


Ewi Ismaredah, S. Kom., M.Kom
NIP. 19750922 2009122 002

DEWAN PENGUJI :

- Revisi : Jufrizel ST., MT
- Ketua : Halim Mudia ST., MT
- Anggota I : Aulia Ullah ST., M.Eng
- Anggota II : Ahmad Faizal ST., MT



I. LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

© Hak Cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



II. LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa didalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 04 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

M FIQIH ALRASYID
NIM. 11555100360

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang
Barang siapa Yang menghendaki kehidupan dunia, maka
wajib baginya berilmu,
dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akhirat,
maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang
menghendaki keduanya,
maka wajib baginya berilmu.

(HR. Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah ...

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha
Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-
Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah
hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam
penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok
panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar
Muhammad SAW.

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang
beriman diantaramu

dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.

(QS : Al-Mujadilah 11)

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam
hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda
tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan
malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang
ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga
besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi
setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat
masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat
keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang
dapat menolongku."

(QS: Al-Isra 80)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
Sultan Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN SUSPensi SEPEREMPAT KENDARAAN

M FIQIH AL RASYID

NIM : 11555100360

Tanggal Sidang : 15 Februari 2021

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrandas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Sistem suspensi digunakan untuk meminimalkan guncangan atau getaran ketika berada dikondisi jalan yang tidak rata. Dari beberapa kasus pengendalian sistem suspensi pada sistem suspensi seperempat kendaraan masih terdapat permasalahan *overshoot* dan osilasi. Mengatasi masalah ini, peneliti mengusulkan menggunakan pengendali PID, namun ternyata hasilnya respon *output* yang ditunjukkan masih terdapat *overshoot*. Penelitian ini mengusulkan menambahkan sebuah kendali adaptif ke pengendali PID yaitu pengendali STR. Dimana STR sendiri dipilih karena pengendali ini mampu memberikan nilai parameter yang tepat pada PID dan dapat meng-*update* nilai parameter ketika terjadi perubahan saat diberikan beban dan gangguan. STR akan mengidentifikasi perubahan tersebut dan membawa sistem untuk mencapai *set point* yang diinginkan. Dimana terlihat STR-PID mampu mengurangi *overshoot* yang sebelumnya terjadi sebesar 60% menjadi 0% dan juga dapat dilihat saat terjadi gangguan pada sistem, dimana gangguan yang diberikan sebesar 8% dimenit ke 40 STR-PID dapat mengatasinya dengan mengembalikan kestabilan yang terjadi pada sistem dengan mengikuti nilai *set point* yang diberikan dalam kurun waktu 7.5 detik..

Kata kunci : Suspensi , STR dan PID



DESING OF ADAPTIVE CONTROL STR-PID TO CONTROL A QUARTER OF THE VEHICLE SUSPENSION

M FIIQH AL RASYID
Student Number :11555100360

Date of Final Exam :15 February 2021

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

The suspension system is used to minimize shocks or vibrations when the road conditions are uneven. From several cases of controlling the suspension system in a quarter vehicle suspension system, there are still problems with overshoot and oscillation. To overcome this problem, the researcher proposed to use a PID controller, but the results showed that the output response was still overshoot. This study proposes adding an adaptive control to add to the PID controller, namely the STR controller. STR itself was chosen because this controller is able to provide the correct parameter values on the PID and can update the parameter values when changes occur when given loads and disturbances. STR will identify these changes and bring the system to reach the desired set point. From the test, it can be seen that STR-PID is able to reduce the overshoot that previously occurred by 60% to 0% and it can also be seen that when there is a disturbance in the system, the disturbance given is 8% in the 40th minute STR-PID can overcome it by restoring the stability that occurs in the system by following the setpoint value given in a period of 7.5 seconds.

Keywords: *SUSPENSION, STR and PID*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Shalawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan alam, pembawa cahaya bagi kehidupan manusia yakni nabi Muhammmad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin umat yang patut diteladani bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Atas berkat rahmat dan ridho Allah SWT penulis dapat Menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN SUSPensi SEPEREMPAT KENDARAAN (QUARTER CAR)".

Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studi nya pada program Sarjana S1 di UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Pada proses pembuatan Tugas Akhir banyak penulis dapatkan masukan-masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikannya, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik itu berupa bantuan moral, materil, atau berupa pikiran yang tidak akan pernah terlupakan. Antara lain kepada:

1. Orang tua dan keluarga besar tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril, maupun materil dan doa kepada penulis.
2. Bapak Prof. DR, Suyitno ,M.Ag. selaku Plt Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah membuat proses administrasi pada Program Studi Teknik Elektro menjadi lebih baik dan efektif.
5. Bapak Halim Mudia, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan banyak waktu serta pemikirannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Pada penyelesaiannya, melalui beliau penulis mendapatkan pengetahuan yang sangat



berharga, dengan keikhlasan dan kesabaran dalam memberikan penjelasan dari nol hingga penulis menjadi paham sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

6. Bapak Aulia Ullah, S.T.,M.Eng. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.

7. Bapak Ahmad Faizal, S.T.,M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.

8. Teman seperjuangan pembimbing Ta pak halim yang sudah selesai duluan, Ramadani, Muhammad Fadhil Al Arif yang telah membantu memberikan masukan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

9. Sahabat seperjuangan dari awal kuliah, Syarifuddin Jakfar, Yames Ditosma,Rizky Bayu Nanda, Muhammad taufik yang selama ini telah memberikan dorongan, membantu, menemani dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini

10. Kakanda, adinda dan keluarga besar Teknik Elektro yang telah memberi dorongan dan inspirasi kepada penulis.

11. Serta seluruh pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Atas jasa-jasa yang telah diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur yang berlaku di Program Studi Teknik Elektro. Tanpa bantuan dan dorongan yang diberikan, penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini, oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah meluangkan waktunya, hanya Allah SWT yang mampu membalas niat baik dan keikhlasan dengan sempurna. Semoga dengan bantuan baik berupa moril maupun materil mendapat balasan dari sisi Allah SWT, baik di dunia maupun di akhirat kelak. Penulis mengharapkan dengan adanya Tugas Akhir ini mampu memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Pada penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT dan kekurangan datang dari penulis. Dalam hal ini penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan ilmu, pengalaman dan pengetahuan penulis dalam proses



pembuatan Tugas Akhir ini, maka dari itu untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini penulis mengharapkan kritikan dan saran kepada semua pihak yang sifatnya membangun.

Pekanbaru, 04 Agustus 2020

M FIQIH AL RASYID





DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SIMBOL	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-4
1.3 Tujuan Masalah.....	I-5
1.4 Batasan Masalah.....	I-5
1.5 Manfaat.....	I-5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Suspensi Seperempat Kendaraan(Quarter-Car).....	II-2
2.2.1 Analisis Performansi Sistem Suspensi.....	II-4
2.2.2 Pemodelan Seperempat Kendaraan (Quarter-Car).....	II-4
2.3 Karakteristik Sistem Orde 2.....	II-7
2.4 PID(<i>Propotional Integral Derivative</i>).....	II-9
2.5 STR(Self Tuning Regulator).....	II-9
2.6 <i>Auto Regressive Moving Average</i> (ARMA).....	II-10
2.7 Identifikasi Sistem STR.....	II-11
2.7.1 <i>Recursive Least Square</i> (RLS).....	II-11
2.7.2 <i>Extended Least Square</i> (ELS).....	II-13
2.8 Persamaan Diskrit Orde I.....	II-13
2.9 Kendali PID Diskrit.....	II-14



2.10 Perangkat Lunak Matlab.....	II-17
----------------------------------	-------

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Alur Metode Penelitian.....	III-1
3.2 Penentuan Variabel.....	III-3
3.3 Validasi Model Matematis	III-4
3.4 Perancangan Kendali STR.....	III-5
3.4.1 Perancangan Plant.....	III-6
3.4.2 Identifikasi Parameter	III-9
3.4.3 Mekanisme Adaptasi dan Desain Kendali	III-9

BAB IV

4.1 Gambaran Umum Analisa Sistem	IV-1
4.2 Simulasi Sistem	IV-1
4.3 Hasil Simulasi Pengujian Suspensi Tanpa Pengendali.....	IV-1
4.4 Hasil Simulasi Pengujian Pengendali STR-PID Pada Suspensi	IV-4
4.5 Hasil Simulasi Pengendali STR-PID Diberi Gangguan	IV-7
4.6 Analisa Respon Sistem	IV-9

BAB V

5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran.....	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Model Suspensi Pasif dan Aktif	II-3
Gambar 2.2 Skema Representasi Model Suspensi	II-5
Gambar 2.3 Karakteristik Respon Waktu Sistem Orde 2	II-8
Gambar 2.4 Skema Dasar STR	II-10
Gambar 2.5 Diagram Blok <i>Plant</i> dengan Kendali PID Diskrit	II-15
Gambar 2.6 Diagram Blok Perhitungan Parameter	II-16
Gambar 2.7 Tampilan Awal MATLAB	II-17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	III-2
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Simulink Open Loop</i> Suspensi	III-4
Gambar 3.3 Respon Sistem <i>Open Loop</i> Suspensi.....	III-4
Gambar 3.4 Diagram Blok STR.....	III-5
Gambar 3.5 Diagram Blok Kendali PID diskrit.....	III-9
Gambar 3.6 Diagram Blok Simulink STR-PID	III-11
Gambar 4.1 Blok <i>Simulink</i> Suspensi secara <i>Open Loop</i>	IV-2
Gambar 4.2 Hasil Respon Sistem Suspensi Secara <i>Open Loop</i>	IV-2
Gambar 4.3 Blok <i>Simulink</i> STR-PID Pada Suspensi.....	IV-5
Gambar 4.4 Hasil Respon STR-PID Pada Suspensi	IV-5
Gambar 4.5 Blok Simulink STR-PID Saat Diberikan Gangguan.....	IV-8
Gambar 4.6 Hasil Respon STR-PID Saat Diberikan Gangguan.....	IV-8

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Pengaruh Salah Satu parameter PID	II-9
Tabel 4.1 Respon Sistem Tanpa Pengendali.....	IV-4
Tabel 4.2 Respon Waktu Sistem Menggunakan Pengendali STR-PID	IV-7





DAFTAR SIMBOL

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang menjiplak sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

K = *Gain Overall*
 τ = Konstanta Waktu
 ω_n = Frekuensi alami tak teredam
 ζ = Rasio peredaman
 θ = Vektor Parameter





DAFTAR SINGKATAN

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang memperjualbelikan atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

STR
PID
ARMA
RLS
ELS
CLTF

ts
tr
td
tp
Ess
Mp
Ts

= *Self Tuning Regulator*
= *Propotional Integral Derivative*
= *Auto Regressive Moving Average*
= *Recursive Least Square*
= *Extended Least Square*
= *Close Loop Transfer Function*
= *Time Settling*
= *Rise Time*
= *Time Delay*
= *Time peak*
= *Error steady state*
= *Maximum Overshoot*
= *Time Sampling*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil merupakan salah satu sarana transportasi darat yang sering digunakan manusia. Transportasi mobil ternyata juga mengalami perkembangan mulai dari perubahan pada produksinya. Selain itu, salah satu faktor yang penting lainnya pada kendaraan mobil adalah kenyamanan saat berkendara. Dalam bermobil kenyamanan saat berkendara merupakan faktor utama yang perlu diperhatikan oleh pengendara maupun penumpang. Namun demikian, mobil akan selalu mengalami getaran atau guncangan yang disebabkan oleh mesin itu sendiri atau karena kondisi jalan yang tidak rata. Saat mobil melaju kencang dan melewati jalan yang bergelombang, yang terjadi adalah mobil akan sedikit terasa melayang karena ban tidak menempel dengan baik sehingga kehilangan traksi. Untuk mengurangi getaran dan guncangan tersebut setiap mobil perlu dilengkapi dengan sistem suspensi. Sistem suspensi ini juga memiliki dampak negatif bagi pengguna nya apabila sistem suspensinya tidak berguna dengan baik penumpang akan mengalami guncangan pada saat berada didalam mobil yang membuat ketidak nyamanan penumpang, sehingga pengemudi sulit dalam mengendalikan mobil nya dan apabila terjadi guncangan yang kuat dapat merusak kendaraan dan barang bawaan.

Sistem suspensi adalah sebuah alat yang memiliki peredam kejut (damper) yang berfungsi untuk menopang kendaraan agar dapat memberikan efek kenyamanan dan keamanan dalam berkendara. Sistem suspensi terletak antara body mobil dan roda-roda mobil, dirancang agar dapat menyerap kejutan dari permukaan jalan yang bergelombang sehingga dapat menambah kenyamanan berkendara dan memperbaiki kemampuan cengkaman roda terhadap jalan. Efek keamanan dari sistem suspensi didapatkan karena menjaga agar roda selalu berada tepat di jalan, karena terjadinya slip pada roda dapat diminimalkan atau membantu roda agar selalu menapak pada jalan, sehingga tidak akan membahayakan pengendara dan penumpang saat berada didalam kendaraan. Suspensi terdiri atas pegas dan shock absorber (peredam kejut, stabilizer dan sebagainya) [1].

Satu unit sistem suspensi pada kendaraan pada umumnya terdiri atas sebuah pegas dan peredam kejut yang terdiri dari besaran massa, gaya yang bekerja pada pegas dan konstanta pegas dan peredam kejut [2]. Sistem suspensi dapat diklasifikasi menjadi pasif, semi-aktif,



dan aktif. Pada sistem pasif, komponen yang digunakan masih konvensional dan memiliki karakteristik tetap, yaitu pegas yang tidak dapat dikontrol secara bersamaan dengan peredam penyerap getaran. Sistem suspensi semi-aktif terdiri dari komponen pasif dan aktif. Sedangkan sistem suspensi aktif tidak memiliki komponen pasif. Sistem suspensi aktif adalah suatu sistem yang hanya menggunakan komponen aktif, artinya pada sistem suspensi aktif ini tidak digunakan komponen pasif. Saat ini suspensi aktif ditandai dengan aktuator hidrolik yang ditempatkan secara seri (*low bandwidth*) atau parallel (*high bandwidth*) dengan pegas dan peredam. Pegas dan peredam merupakan suatu komponen utama yang menyusun suatu sistem suspensi, yang berfungsi untuk menopang badan kendaraan, meredam getaran ketika kendaraan berinteraksi dengan jalan.[3]

Untuk menganalisa karakteristik sistem suspensi maka digunakan model seperempat kendaraan. Dikarenakan model ini mempermudah dalam menganalisis karakteristik dari sistem suspensi. Pada model seperempat kendaraan, membagi sistem suspensi menjadi empat bagian dengan asumsi setiap suspensi pada keempat roda kendaraan simetris. Massa badan kendaraan yang diperhitungkan pada setiap suspensi merupakan massa badan kendaraan keseluruhan dibagi empat [4].

Dalam perkembangannya, tidak semua sistem suspensi mampu memberikan efek kenyamanan yang baik saat berkendara, didalam suspensi sendiri sering terjadi gangguan saat berada di jalan yang tidak rata ataupun berlobang, sehingga dibutuhkan pengendali agar sistem suspensi mampu meredam getaran dan guncangan saat terjadi benturan di permukaan jalan yang tidak rata. Karena sistem suspensi yang baik mampu meredam *overshoot* dan osilasi yang terus menerus akibat guncangan yang terjadi.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai sistem suspensi antara lain ; pada penelitian ini menggunakan PID dengan algoritma genetika dan penalaan parameter menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Kelemahan pada penelitian ini adalah belum mampu menghilangkan *overshoot* pada sistem. Hal ini menyebabkan bahwa hasil metode algoritma genetika lebih bagus dibandingkan menggunakan metode *Ziegler-Nichols*, namun masih terdapat *overshoot* [3].

Penelitian berikutnya menggunakan pengendali *fuzzy logic controller* (FLC), dengan metode dilakukan dengan 49 aturan *fuzzy*. Pada penelitian ini, menunjukan respon yang dihasilkan oleh kendali *fuzzy logic controller* sudah lebih baik. Namun masih terdapat kelemahan yaitu belum mampu menghilangkan *overshoot* [4].

Penelitian selanjutnya menggunakan pengendali *fuzzy logic controller* (FLC), *sliding mode control* (SMC), dan *fuzzy sliding mode control* (FSMC). Penelitian ketiga



menggunakan pengendali *fuzzy logic controller* (FLC), *sliding mode control* (SMC), dan *fuzzy sliding mode control* (FSMC). Saat menguji kinerja pengendali, sistem ini menghasilkan empat jenis gangguan jalan secara individual. Respon tersebut dibandingkan satu sama lain bersama dengan sistem pasif. Hasil yang ditunjukkan bahwa FSMC lebih mampu mengontrol gangguan dengan baik dari pada dua pengendali lain yang dirancang untuk sistem pada saat kondisi jalan rusak [5].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, sistem suspensi memiliki masalah pada *overshoot* dan osilasi. *Overshoot* merupakan tanda ketidak stabilan sistem, karena *overshoot* itu bermakna lonjakan yang terjadi ketika sistem diberi masukan. Osilasi juga dapat disebut *flicker* atau gangguan yang mengubah bentuk gelombang menjadi rusak. sehingga dibutuhkan pengendali yang dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Pengendali yg dipilih yaitu pengendali *Propotional Integral and Derivative* (PID).

PID adalah suatu kendali yang sering digunakan karena memiliki struktur kendali yang sederhana. Dalam penyusunannya kendali PID terdiri dari *Propotional* (P) yang memiliki fungsi untuk mempercepat respon *output*, *Integral* (I) mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*. Sementara kendali *Derivatif* (D) mempunyai keunggulan memperkecil *overshoot* [6][7]. Namun, pengendali PID juga masih memiliki kelemahan yaitu tidak dapat bekerja dengan baik terhadap sistem non linear dengan banyak ke tidak pastian dan juga menentukan nilai PID dilakukan secara manual dengan metode *trial and error*, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan nilai yang sesuai dan jika terjadi perubahan terhadap sistem nilai parameter PID harus dicari kembali. Hal ini disebutkan di beberapa penelitian antara lain “*Pengendalian Posisi Sistem Magnetic Lavitation Ball Menggunakan PID Gain Schedulling*” dengan penentuan parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichlos. Didalam penelitian ini dapat dilihat bahwa setiap terjadi perubahan baik pada waktu penjadwalan, nilai parameter PID juga ikut berubah ketika jadwal berikutnya penentuan parameter control PID harus dicari lagi secara manual agar sistem tetap berjalan stabil [8].

Kemudian pada penelitian lainnya yang berjudul “*Penerapan PID Controller Pada Sistem Pengendalian Temperatur Pada Proses Pembuatan Kaca Lembaran di PT. Asahimas Flat Glass, Tbk Sidoarjo*” [9]. Kedua penelitian ini menunjukkan bahwa pencarian nilai pada pengendalian PID menggunakan metode *trial and error* sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menemukan nilai yang sesuai. Oleh sebab itu, penulis ingin menggunakan suatu kendali adaptif yang bernama *Self Tuning Regulator*(STR) untuk mengendalikan kestabilan suspensi, karena sifat dari pengendali STR ini mampu men *tuning* secara otomatis nilai



parameter PID ketika terjadi gangguan pada sistem, dan mampu mengatasi osilasi yang terjadi pada sistem sebelumnya.

Penulis memilih *Self Tuning Regulator* PID (STR-PID) pada penelitian ini untuk dapat menghilangkan *overshoot* dan osilasi yg terjadi pada sistem dan dapat mengatur kestabilan terhadap gangguan pada sistem suspensi. STR merupakan salah satu jenis kendali adaptif yang mampu melakukan *tuning* secara otomatis terhadap nilai PID. STR bekerja dengan cara membaca dan memeriksa data yang diterima dari *plant* kemudian mencari nilai parameter yang tepat lalu meng-*update* parameter kendali PID, sehingga PID tetap bekerja pada kestabilan yang dibutuhkan sesuai dengan *set point* yang diberikan. STR juga dapat beradaptasi terhadap perubahan parameter yang dapat mengganggu keluaran, sehingga cukup baik untuk mengatasi gangguan.[10] STR mampu beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi pada *plant* lalu mengestimasi nilai parameter atau meng *update* nilai parameter kendali PID secara otomatis agar sistem dapat bekerja pada nilai *set point* yang diinginkan. Pada beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa STR-PID dapat digunakan dalam pengendalian posisi objek dan dapat mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem[11][12][13].

Metode pendekatan diskrit pada *plant* STR menggunakan struktur model *Auto Regressive Moving Average* (ARMA). Model ARMA ini berfungsi untuk mengubah *transfer function* dari *plant* kedalam bentuk diskrit. Model ARMA memiliki struktur turunan matematis yang sederhana dan mudah untuk dipahami kemudian untuk proses *tuning* nilai STR menggunakan algoritma estimasi yang digunakan adalah *Extended Least Square* (ELS)., ELS merupakan modifikasi dari *Recrusrive Least Square* (RLS). RLS sendiri merupakan algoritma yang mempunyai laju konvergensi yang lebih cepat dengan tingkat kesalahan yang lebih sedikit, namun algoritma RLS ini mempunyai waktu yang terbatas dalam memproses *tuningnya*, agar proses *tuning* bisa dilakukan dalam waktu yang tak terbatas selama *power supply* masih aktif, maka di modifikasilah algoritma estimasi *Extended Least Square* (ELS) [14].

Berdasarkan uraian diatas penulis mengajukan tugas akhir dengan judul “Perancangan Kendali Adaptif STR-PID Untuk Mengendalikan Suspensi Seperempat Kendaraan(*Quarter Car*)”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana cara merancang adaptif STR-PID untuk mengendalikan suspensi seperempat kendaraan agar mampu memperkecil



overshoot serta dapat mengikuti respon *output* yang diberikan dan bisa mengatasi gangguan pada sistem.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang kendali STR-PID untuk mengendalikan suspensi seperempat kendaraan agar mendapatkan respon *output* sistem bisa mengikuti setpoint yang diberikan dan mampu menghilangkan *overshoot* serta bisa mengatasi gangguan.

1.4 Batasan Masalah

Pembahasan tugas akhir ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penurunan model matematis sistem dirujuk dari jurnal internasional yang berjudul *Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspension System Using Genetic Algorithm*. [3]
2. Variable yang dikendalikan pada penelitian ini adalah kestabilan pada sistem suspensi model seperempat kendaraan dengan fokus mengecilkan *overshoot* dan osilasi serta bisa mengatasi gangguan pada perancangan dari kendali STR-PID yang telah dibuat.
3. Pengendali yang digunakan adalah STR dengan pendekatan struktur model ARMA orde 2
4. Algoritma estimasi pada STR yang digunakan adalah ELS
5. Simulasi dilakukan menggunakan aplikasi Matlab

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah :

1. Sebagai referensi tambahan bagi peneliti-peneliti berikutnya
2. Dapat menjadi referensi untuk penerapan pengendali dalam proses industri
3. Memberikan gambaran dan pengetahuan tentang bentuk desain pengendali STR-PID



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang beberapa penelitian terkait yang mengkaji teori-teori yang sudah ada sebelumnya. Teori yang digunakan kemudian disajikan untuk memperkuat argument penulis dalam penelitian yang telah dilakukan ini. Pada BAB ini, berisi tentang teori penunjang dari berbagai tinjauan pustaka seperti dan berbagai buku dan *paper* dan berbagai literature yang mendukung penelitian ini.

2.1 Penelitian Terkait

Suspensi merupakan kumpulan komponen yang memiliki fungsi meredam kejutan getaran yang terjadi pada kendaraan akibat permukaan jalan yang tidak rata. Suspensi Gangguan merupakan factor ketidak pasti yang dapat terjadi dalam sistem yang tidak dapat diprioritaskan. Gangguan pada sistem dapat diatasi dengan cara merancang pengendali yang memiliki sifat kokoh terhadap gangguan, sehingga kekokohan pada sistem terjaga. Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang berkaitan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, *paper*, buku dan sumber lainnya.

Ada beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan tentang suspensi seperempat kendaraan. Pada penelitian pertama, menggunakan PID dengan algoritma genetika dan penalaan parameter menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Kelemahan pada penelitian ini adalah belum mampu menghilangkan *overshoot* pada sistem. Hal ini menyebabkan bahwa hasil metode algoritma genetika lebih bagus dibandingkan menggunakan metode *Ziegler-Nichols*, namun masih terdapat *overshoot* [3].

Penelitian berikutnya menggunakan pengendali *fuzzy logic controller* (FLC). Metode dilakukan dengan 49 aturan *fuzzy* dan PID. Pada penelitian ini, menunjukan respon yang dihasilkan oleh kendali *fuzzy logic controller* sudah lebih baik. Namun masih terdapat kelemahan yaitu belum mampu menghilangkan *overshoot* [4].

Penelitian selanjutnya menggunakan pengendali *fuzzy logic controller* (FLC), *sliding mode control* (SMC), dan *fuzzy sliding mode control* (FSMC). Saat menguji kinerja pengendali, sistem ini menghasilkan empat jenis gangguan jalan secara individual. Respon tersebut dibandingkan satu sama lain bersama dengan sistem pasif. Hasil yang ditunjukkan



bahwa FSMC lebih mampu mengontrol gangguan dengan baik dari pada dua pengendali lain yang dirancang untuk sistem pada saat kondisi jalan rusak [5].

Pada penelitian lainnya “*Pengendalian Posisi Sistem Magnetic Levitation Ball Menggunakan PID Gain Scheduling*”. Didalam penelitian ini dapat dilihat bahwa setiap terjadi perubahan baik pada waktu penjadwalan, nilai parameter PID juga ikut berubah ketika jadwal berikutnya penentuan parameter control PID harus dicari lagi secara manual agar sistem tetap berjalan stabil [8].

Kemudian pada penelitian lainnya yang berjudul “*Penerapan PID Controller Pada Sistem Pengendalian Temperatur Pada Proses Pembuatan Kaca Lembaran di PT. Asahimas Flat Glass, Tbk Sidoarjo*” [9]. Kedua penelitian ini menunjukkan bahwa setiap terjadi perubahan baik pada waktu penjadwalan, nilai parameter PID juga ikut berubah ketika jadwal berikutnya penentuan parameter control PID harus dicari lagi secara manual agar sistem tetap berjalan stabil. Karena pencarian nilai pada pengendalian PID menggunakan metode *trial and error* sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menemukan nilai yang sesuai. Oleh sebab itu, akan dikombinasikan PID dengan kendali adaptif yaitu *Self Tuning Regulator* (STR) agar penentuan parameter PID didapat secara tepat.

Pada penelitian lainnya yang berjudul “*Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Adaptif Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa*” [11]. Penelitian lainnya yang berjudul “*Optimal Pole Placement for a Self Tuning PID Controller*” [12]. Penelitian ini mengatakan bahwa pengendali adaptif STR mampu meningkatkan kinerja PID untuk mendapatkan parameter yang tepat.

Berdasarkan dari kajian pustaka diatas menunjukkan bahwa pengendali *Self Tuning Regulator* (STR) memiliki kemampuan untuk meningkatkan kinerja PID supaya dapat mengurangi terjadinya *overshoot*, osilasi, dan mampu memperbaiki *error steady state*, serta dapat mengatasi gangguan pada kestabilan suspensi seperempat kendaraan, maka penulis akan merancang pengendali STR-PID untuk mengendalikan suspensi seperempat kendaraan agar kekurangan dari respon sebelumnya dapat teratasi.

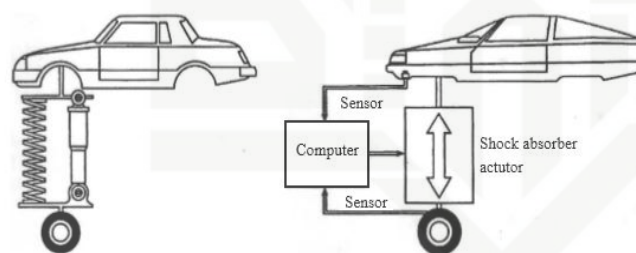
2.2 Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter-Car*)

Sistem suspensi aktif mempunyai kemampuan dalam mengurangi percepatan massa yang bermunculan secara terus menerus dan juga dapat meminimalkan defleksi suspensi yang menghasilkan peningkatan cangkaman roda dengan permukaan jalan, suspensi merupakan suatu komponen mekanik penting pada bagian kendaraan. Dimana suspensi dapat mencegah gangguan pada jalan untuk mempengaruhi kenyamanan penumpang dan meningkatkan



kemampuan berkendara dan tingkat mengemudi yang halus. Tujuan mendasar dari suspensi untuk mempertahankan kontak terus menerus antara roda dan permukaan jalan, dan untuk mengisolasi penumpang atau muatan dari getaran yang disebabkan oleh jalan yang tidak rata. Kedua tujuan ini bertanggung jawab atas penanganannya kualitas dan kenyamanan berkendara [13]. Suspensi terdiri dari sistem pegas, peredam kejut dan hubungan yang menghubungkan kendaraan ke rodanya. Dalam arti lain, sistem suspensi adalah mekanisme yang memisahkan secara fisik bodi mobil dari roda mobil. Fungsi utama sistem suspensi kendaraan adalah meminimalkan percepatan vertikal yang ditransmisikan ke penumpang yang langsung memberikan kenyamanan jalan. Sistem suspensi yang baik yaitu mengurangi isolasi getaran yang baik [14].

Menurut masukan daya eksternal, sistem suspensi dikategorikan menjadi pasif, semi-aktif, dan aktif. Sistem suspensi aktif ditandai dengan aktuator hidrolik yang ditempatkan secara seri (*low bandwidth*) atau paralel (*high bandwidth*) dengan pegas dan peredam. Pegas dan peredam merupakan komponen utama yang menyusun sistem suspensi, yang dapat menopang badan kendaraan dan meredam getaran saat berinteraksi dengan jalan. Sistem suspensi aktif yaitu sistem yang hanya menggunakan komponen aktif artinya pada sistem suspensi aktif ini tidak digunakan komponen pasif. Sedangkan pada sistem suspensi semi-aktif merupakan gabungan dari komponen pasif dan komponen aktif. Suspensi pasif terdiri dari komponen pasif, yaitu pegas dan peredam [2].



Gambar 2.1 (a) Model Suspensi Pasif (b) Model Suspensi Aktif [16]

Model seperempat kendaraan mempermudah dalam menganalisis karakteristik dari sistem suspensi pada keempat roda kendaraan seperempat, membagi sistem suspensi menjadi empat bagian dengan asumsi setiap suspensi pada keempat roda kendaraan simetris. Sistem suspensi model seperempat kendaraan terdiri dari seperempat dari massa tubuh, suspensi komponen dan satu roda. Asumsi seperempat kendaraan yaitu ban dimodelkan sebagai pegas linear tanpa redaman, tidak ada gerak rotasi di roda dan tubuh, perilaku pegas dan damper



linear, ban selalu bersentuhan dengan permukaan jalan dan efek gesekan diabaikan sehingga struktural redaman tidak dianggap menjadi pemodelan kendaraan [17]

2.2.1 Analisis Performansi Sistem Suspensi

Dalam analisis performansi sistem suspensi ada 3 macam aspek, yaitu:

1. *Vibration Isolation*

Aspek ini dapat di analisa dengan meninjau respon massa sprung (*output*) terhadap eksitasi permukaan jalan (*input*), parameter ini dapat berupa kecepatan dan percepatan.

2. *Suspension Travel*

Defleksi pegas suspensi atau *displacement* relative antara massa sprung dan massa unsprung ini didefinisikan sebagai space yang diijinkan untuk mengakomodasi gerakan suspensi antara benjolan dan pantulan, yang lebih dikenal dengan sebutan *rattle space*.

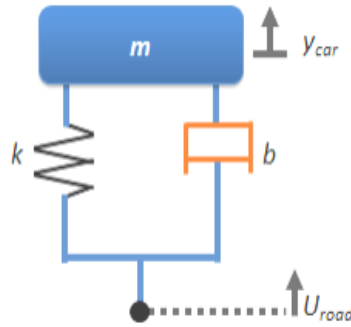
3. *Roadholding*

Kemampuan ban untuk selalu menempel pada permukaan jalan disebut *roadholding* yang didefinisikan sebagai defleksi ban atau *displacement* relative antara defleksi massa unsprung terhadap permukaan jalan [18].

2.2.2 Pemodelan Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*)

Sistem suspensi aktif memiliki kemampuan untuk mengurangi percepatan massa yang bermunculan secara terus menerus dan juga meminimalkan defleksi suspensi, yang menghasilkan peningkatan cengkaman roda dengan permukaan jalan, dengan demikian rem, kontrol traksi dan kemampuan gerakan kendaraan bisa jauh lebih baik. [13].

Model suspensi mobil seperempat kendaraan adalah salah satu dari empat suspensi dimobil yang mempunyai khas. Sistem orde kedua ini, dapat didekati sebagai sistem massa pegas peredam dengan masukan sebagai perubahan tinggi jalan, yaitu gangguan hadir di jalan dan output sebagai vertikal perpindahan tubuh mobil. Dinamika sistem dapat dimodelkan menggunakan detik urutan persamaan diferensial [3].



Gambar 2.2 Skema Representasi Model Suspensi Seperempat Kendaraan [3]

Dimana

m = Massa Kendaraan

k = Konstanta Pegas

b = Konstanta peredam

Dari pemodelan diatas gaya yang berkerja pada massa m adalah gaya pegas / *spring force* (f_s) dan gaya peredam / *damping force* (f_d). Dimana gaya pegas nilainya sebanding dengan nilai konstanta pegas (k) serta jarak perpindahan (vertikal) dari posisi keseimbangan (y) sehingga di dapatkan persamaan sebagai berikut :

$$F_s = -ky \quad (2.1)$$

Tanda negatif menunjukkan gaya yang bekerja akan mengembalikan massa m ke posisi keseimbangan. Sedangkan untuk gaya peredam, dimana b adalah koefiien peredam mempengaruhi besarnya nilai kecepatan massa m pada arah vertical.

Sehingga :

$$F_d = -b \frac{dy}{dt} \quad (2.2)$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa gaya yang bekerja berlawanan dengan arah kecepatan massa.

Dimana :

y = Posisi

$\frac{dy}{dt}$ = Kecepatan

$\frac{d^2y}{dt^2}$ = Percepatan

Sistem suspensi kendaraan diturunkan berdasarkan persamaan Hukum Newton II sebagai berikut:



$$\Sigma f = m \cdot a \quad (2.3)$$

Dengan : F = Gaya

m = Massa

a = Percepatan

Dimana b mempengaruhi kecepatan, k mempengaruhi posisi dan $u = F$ (gaya yang diberikan) sehingga

$$\Sigma f = m \cdot a$$

$$F_d + F_s = m a$$

$$\left(b \frac{dy}{dt} \right) + (-ky) = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

$$b \left(\frac{du(t)}{dt} - \frac{dy(t)}{dt} \right) + k (u(t) - y(t)) = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

$$b \frac{du(t)}{dt} - b \frac{dy(t)}{dt} + k u(t) - k y(t) = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

$$b \frac{du(t)}{dt} + k u(t) = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + b \frac{dy(t)}{dt} + k y(t)$$

$$b \dot{u}(t) + k u(t) = m \ddot{y}(t) + b \dot{y}(t) + k y(t)$$

Dilakukan transformasi laplace

$$\mathcal{L}\{b \dot{u}(t) + k u(t) = m \ddot{y}(t) + b \dot{y}(t) + k y(t)\}$$

Sehingga didapatkan transformasi laplace:

$$b \dot{u}(t) + k u(t) = m \ddot{y} + b \dot{y}(t) + k y(t)$$

$$bs u(s) + k u(s) = ms^2 y(s) + bs y(s) + k y(s)$$

$$(bs + k) u(s) = (ms^2 + bs + k) y(s)$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{bs+k}{ms^2+bs+k}$$

Sehingga didapatkan fungsi alihnya:

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{bs + k}{ms^2 + bs + k}$$

$$G(s) = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{y(s)}{u(s)}$$

Dengan parameter *quarter car* adalah $m = 550 \text{ Kg}$, $b = 1250 \text{ Ns/m}$ dan $k = 22500 \text{ N/m}$

[3]. Sehingga didapatkan fungsi alih dari *Quarter Car* menjadi :

$$G(s) = \frac{1250s+22500}{550s^2+1250s+22500} \quad (2.4)$$

Bentuk penyederhanaan *transfer function* diatas dengan semua nilainya dibagi dengan 550 kg

dengan nilai :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2.273 s + 40.90}{s^2 + 2.273 s + 40.90}$$

Didapatkan nilai sebagai berikut :

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$b = 2.273 \text{ Ns/m}$$

$$k = 40.90 \text{ N/m}$$

2.3. Karakteristik Sistem Orde 2

Model matematis dari *plant* suspensi adalah sistem orde 2, sistem orde 2 dapat dinyatakan dalam bentuk Persamaan berikut ini [19]:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.5)$$

Dimana:

K = *Gain overall*

ω_n = Frekuensi alami tak teredam

ξ = Rasio peredaman

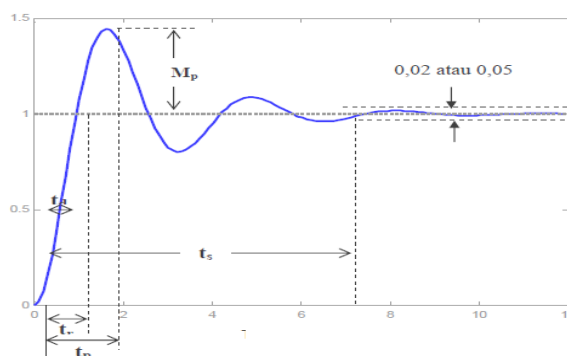
Karakteristik respon transien sistem orde kedua pada Gambar 2.5 terdiri dari :

1. Spesifikasi teoritis

Frekuensi alami tak teredam (ω_n) dan rasio peredaman (ξ).

2. Spesifikasi praktis

Spesifikasi praktis diperoleh dengan asumsi respon sistem orde kedua dalam keadaan redaman kurang (*under damped*)



Gambar 2.3 Karakteristik Respon Waktu Sistem Orde 2 [19]

Spesifikasi Orde 2 terdiri dari :

1. Waktu tunda (*delay time*), t_d

Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai setengah dari nilai *steady state* tunak untuk waktu pertama.

2. Waktu naik (*rise time*), t_r

Waktu naik adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai *steady state*.

3. Waktu puncak (*peak time*), t_p

Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak pertama *overshoot*.

4. *Overshoot* maksimum, M_p

Overshoot maksimum adalah nilai puncak kurva respon diukur dari satuan.. Apabila nilai akhir keadaan tunak responnya jauh dari satu, maka biasa digunakan persen *overshoot* maksimum, dan didefinisikan oleh

$$\text{Maksimum (persen)overshoot} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.6)$$

Besarnya persen *overshoot* maksimum menunjukkan kestabilan relatif dari sistem.

5. Waktu tunak (*settling time*), t_s

Waktu tunak adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai keadaan stabil (keadaan tunak) atau dianggap stabil.

2.4 PID (*Proportional Integral Derivative*)

Pengendali PID terdiri dari perpaduan dasar beberapa aksi pengendalian yaitu *proportional*, *integral* dan *derivative*. PID merupakan pengendali yang sering digunakan dalam sistem kendali industri[6]. Pengendali ini dapat digunakan sendiri-sendiri ataupun dipadukan sekaligus ketiganya[7].

Kendali *proportional* (P) dapat digunakan untuk mempercepat respon sistem, kendali *integral* (I) digunakan untuk mengurangi *error steady state* keluaran sistem, dan kendali



derivative (D) dapat difungsikan untuk meredam *osilasi*. Sehingga jika ketiga kendali tersebut dikombinasikan akan menghasilkan respon yang bagus[8].

Tuning atau penalaan parameter P, I dan D merupakan hal yang penting dalam desain pengendali PID. Untuk itu perlu dilakukan penalaan atau *tuning* terhadap parameter tersebut.

Pengaruh *tuning* salah satu parameter PID terhadap unjuk kerja proses ditunjukkan pada tabel berikut:

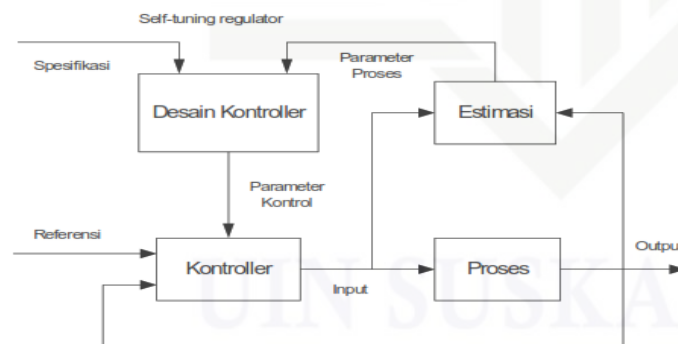
Tabel 2.1 Pengaruh salah satu parameter PID [6]

Respon lup tertutup	Waktu naik	Overshoot	Waktu Turun	Kestabilan
Pembesaran k_p	Berkurang	Bertambah	Sedikit bertambah	Menurun
Pembesaran k_i	Sedikit berkurang	Bertambah	Bertambah	Menurun
Pembesaran k_d	Sedikit berkurang	Berkurang	Berkurang	Meningkat

2.5 STR (Self Tuning Regulator)

STR merupakan bagian dari sistem kendali adaptif. Adaptif adalah pengaturan yang memiliki algoritma untuk merevisi nilai parameter atau struktur kendali yang mengikuti perubahan parameter struktur *plant* sehingga sistem yang dikendalikan selalu memenuhi spesifikasi desain yang ditentukan [20].

Berikut merupakan urutan penggunaan dari STR yang dimulai dari pendekatan struktur pemodelan *plant* lalu estimasi parameter sehingga bisa mendesain kendali.



Gambar 2.4 Skema Dasar STR [11]

Pada blok Estimasi merupakan identifikasi parameter dari *plant* yang menggunakan algoritma identifikasi dalam bentuk diskrit agar *plant* memiliki sifat adaptif. Skema STR di estimasi dari parameter-parameter proses secara terus-menerus di-*update* dan parameter pengendali didapatkan dari solusi dengan menggunakan parameter yang diestimasi.



Parameter pengendali diatur oleh kalang yang terdapat di bagian luar, yang terdiri dari blok estimasi parameter dan blok perhitungan desain pengendali. Pada skema STR parameter pengendali atau parameter proses diestimasi secara *real-time*[20].

Parameter-parameter *plant* dari model diestimasi secara *on-line*, dan blok “Estimasi” pada gambar 2.4 melaksanakan estimasi dari parameter-parameter proses. Blok “Desain Kontroler” merepresentasikan penyelesaian desain dari parameter yang telah diidentifikasi. Blok “Pengendali” adalah implementasi pengendalian yang diberikan kepada objek dengan parameter-parameter yang didapatkan dari blok “Desain Pengendali” sehingga sistem ini bisa disebut otomatisasi proses estimasi dan desain karena model dari proses dan desain kendali diperbarui setiap saat[21].

Blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 2.4 mempunyai banyak pilihan yang dapat digunakan untuk model dan struktur dari sistem kendali adaptif. Pada Tugas Akhir ini, struktur model plant akan menggunakan ARMA orde 2 dengan proses diestimasi menggunakan algoritma ELS.

2.6 ARMA (Auto Regressive Moving Average)

Dalam proses perancangan kendali STR sistem *plant* harus dalam bentuk sistem diskrit salah satu metode yang digunakan adalah pendekatan struktur ARMA orde 2 yang mampu mengubah sistem *continue* (s) menjadi diskrit atau digital (z) [12]. Dimana pemodelan diskrit harus memenuhi Persamaan yang berlaku pada ARMA orde 2 adalah sebagai berikut:

$$y(k) = -a_1y(k-1) - a_2y(k-2) \dots - a_ny(k-n_a) + b_0x(k-d) + \dots + b_{n_b}x(k-d-n_b) \quad (2.7)$$

dengan transformasi Z diperoleh

$$(a_0 + a_1z^{-1} + a_{n_A}z^{-n_A})y(z) = (b_0z^{-d} + \dots + b_{n_B}z^{-d-n_B})x(z) \quad (2.8)$$

$$y(z) = \frac{z^{-d}(b_0 + \dots + b_{n_B}z^{-n_B})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_{n_A}z^{-n_A}} \quad (2.9)$$

Sedangkan untuk *plant* orde 2 menjadi:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{z^{-1}(b_0 + b_1z^{-1})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (2.10)$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0z^{-1} + b_1z^{-2}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (2.11)$$



Untuk pengubahan nilai *Transfer Function plant* ke persamaan transformasi Z menggunakan transformasi bilinear berikut:

$$S = \frac{2}{T_s} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (2.12)$$

Dengan penentuan nilai T_s (*time sampling*) pada transformasi bilinear harus mengikuti ketentuan berikut : $\frac{T_r}{10} \leq T_s \leq \frac{T_r}{2}$ dan $T_s < T_d$.

2.7 Identifikasi Sistem STR

Identifikasi sistem adalah suatu cara menentukan model matematis dari sebuah sistem. Dimana identifikasi sistem pada STR menggunakan algoritma *Recursive Least Square* (RLS) dan *Extended Least Square* (ELS), ELS merupakan modifikasi dari bentuk algoritma RLS.

2.7.1 Recursive Least Square (RLS)

Algoritma *Recursive Least Square* (RLS) merupakan salah satu identifikasi sistem pada STR. Algoritma RLS mempunyai laju konvergensi yang lebih cepat dengan tingkat kesalahan yang lebih sedikit. Estimasi dilakukan secara *real-time* di dalam sistem, bagian *input* dan *output* dari *plant* yang digunakan sebagai input untuk algoritma estimasi[22]. Pada prinsipnya metode ini menghitung parameter-parameter yang tak diketahui dari suatu model matematik, parameter tersebut harus dipilih dengan meminimalkan jumlah kuadrat antara pengamatan aktual dengan *output* yang diprediksi dengan nilai pembobot yang akan menentukan tingkat kepresisian dari parameter yang diestimasi. Kriteria RLS adalah kuadratik, dengan demikian solusi analitik dari permasalahan RLS akan ada sepanjang variabel yang diukur adalah linier. Dalam sistem kendali adaptif pengamatan data diperoleh secara sekuensial secara *real time*[14]. Oleh karena itu metode ini sangat diperlukan dalam estimasi parameter secara *real time*.

Secara umum model dari suatu proses dapat ditulis sebagai berikut:

$$G_p(z^{-1}) = \frac{z^d N(z^{-1})}{D(z^{-1})} \quad (2.14)$$

Dimana d adalah *time delay* $n \geq m + d$

$$N(z^{-1}) = \beta_0 + \beta_1 z^{-1} + \dots + \beta_m z^{-m} \quad (2.15)$$

$$D(z^{-1}) = \alpha_0 + \alpha_1 z^{-1} + \dots + \alpha_m z^{-m} \quad (2.16)$$

Dalam persamaan:



$$Y(k) = -a_1 Y(k-1) - a_2 Y(k-2) + \dots + a_n Y(k-n) + b_0 U(k-d) \dots + b_m U(k-d-m) \quad (2.17)$$

Dalam bentuk vector $y(k) = \varphi^T(k)\theta$ dimana:

$$\theta = [a_1 a_2 b_0 b_1]$$

$$\varphi^T(k) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-n), u(k-d), u(k-d-nB)]^T \quad (2.18)$$

Maka metode RLS estimator dapat diberikan sebagai berikut:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + F(k)[y(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)] \quad (2.19)$$

$$F(k) = F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{1 + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \quad (2.20)$$

Dalam memperoleh pengestimasi nilai parameter $\hat{\theta}(k)$ dengan menambahkan bobot *error*-prediksi nilai $y(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)$ untuk nilai estimasi $\hat{\theta}(k-1)$ sebelumnya. Nilai $F(k)$ adalah matrik gain estimasi (*weighting factors*) yang memperlihatkan bagaimana nilai koreksi dan nilai estimasi parameter sebelumnya harus digabungkan. Metode ini disebut dengan *Standart Least Square*, dimana metode ini cukup baik untuk mengestimasi nilai parameter secara *offline* atau dengan jumlah iterasi data yang terbatas. Namun untuk estimasi secara *online* untuk jumlah iterasi yang tak terbatas, Perbedaan *offline* dan *online* itu terletak dipencari nilai parameternya yang kalau *offline* jumlah iterasi datanya terbatas maka mencari nilainya bisa dilakukan secara manual, *online* jumlah iterasi datanya tak terbatas dapat mencari nilai parameternya secara otomatis. Maka, dari Persamaan (2.14), matrik gain estimasi dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah iterasi, maka nilai matrik gain estimasi $F(k)$ akan semakin mengecil dan akhirnya menuju nol atau disebut *decreasing gain*. Jika hal ini terjadi, maka metode *Standart Least Square* akan kehilangan kemampuan untuk mengestimasi parameter. Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan sebuah metode *Extended Least Square* (ELS).

2.7.2 Extended Least Square (ELS)

ELS merupakan sebuah metode yang merupakan modifikasi dari RLS agar estimasi dapat dilakukan dengan waktu yang tak terbatas dengan memodifikasi nilai matrik gain estimasi agar tetap konstan dan tidak mengecil. Modifikasi nilai matrik gain estimasi dilakukan dengan cara dengan memilih gain adaptasinya.

Untuk itu formulasi dari $F(k)$ dimodifikasi menjadi:

$$F(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{\lambda_2(k) + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \quad (2.21)$$



Hasil modifikasi diatas disebut *Extended Least Square* (ELS) dengan menggunakan *constant forgetting factor* agar estimasi yang dilakukan secara terus menerus tanpa batasan waktu , dengan nilai λ_1, λ_2 sebagai berikut:

- 1) Dipilh nilai $0 < \lambda_1 < 1$ dan $\lambda_2 = 1$
- 2) Atau dipilih $\lambda_1 = 1$ dan $\lambda_2 > 1$

2.8 Persamaan Diskrit Orde 1

Persamaan diskrit orde 1 digunakan karena *Close Loop Transfer Function* (CLTF) adalah sebuah diskrit sistem yang menyerupai orde 1 diskrit yang digunakan untuk mencari nilai parameter formulasi kendali di STR-PID

Dalam waktu kontinu orde satu dapat kita representasikan dalam bentuk [19]:

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2.22)$$

Dengan metode pendekatan *Tustin Bilinier Rule* atau biasa disebut *bilinier transform* di mana [21]:

$$S = \frac{2}{T_s} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \quad (2.23)$$

Dengan metode persamaan diskrit orde 1:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{K}{\tau \left(\frac{2}{T_s} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + 1 \right)} \quad (2.24)$$

Dimana:

K = Gain Overall

T_s = Time sampling

τ = Time Constant Plant

2.9 Kendali PID diskrit

Kendali PID kontinyu secara umum ditulis sebagai berikut [22]

$$\frac{U(s)}{E(s)} = H_{PID}(s) = K \left[1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{N}} \right] \quad (2.25)$$

Dimana:

K = Propotional Gain

T_i = Aksi Integral



T_d = Aksi Derivative

T_d/N = Filtering dari Aksi Derivative

Beberapa metode untuk mendiskritkan persamaan kontinyu, Tetapi secara umum bentuk diskrit akan sama. Untuk kasus ini menggunakan metode *Backward Difference Approximation* di mana *factors (derivative)* akan didekati dengan pendekatan $\frac{1-q^{-1}}{T_s}$, dan $1/s$ (integral) akan didekati dengan $\frac{T_s}{1-q^{-1}}$. Dari persamaan (2.19), akan didapatkan *transfer function*:

$$= K \left[1 + \frac{T_s}{T_i} \frac{1}{1-q^{-1}} + \frac{\frac{NT_d}{T_d+NT_s}(1-q^{-1})}{1 - \frac{T_d}{T_d+NT_s}q^{-1}} \right] \quad (2.26)$$

Dengan menyelesaikan Persamaan (2.20), akan didapatkan bentuk perbandingan *polynomial* $R(q^{-1})$ dan $S(q^{-1})$ menjadi Persamaan (2.21), dan Persamaan (2.22):

$$R(q^{-1}) = k_1 + k_2 q^{-1} + k_3 q^{-2} \quad (2.27)$$

$$S(q^{-1}) = (1 - q^{-1})(1 + k_0 q^{-1}) \quad (2.28)$$

Sehingga:

$$H_{PID}(q^{-1}) = \frac{R(q^{-1})}{S(q^{-1})}$$

Dimana:

$$k_0 = \frac{T_d}{T_d + NT_s} \quad (2.29)$$

$$k_1 = K \left[1 + \frac{T_s}{T_i} - N k_0 \right] \quad (2.30)$$

$$k_2 = K \left[k_0 \left(1 + \frac{T_s}{T_i} + 2N \right) - 1 \right] \quad (2.31)$$

$$k_3 = -K k_0 (1 + N) \quad (2.32)$$

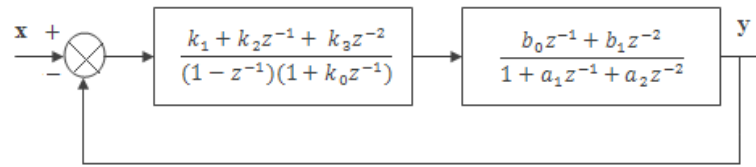
Seperti kendali PID kontinyu, PID diskrit juga memiliki 4 parameter (k_0, k_1, k_2, k_3). Karena dalam desain kendali PID pada Tugas Akhir ini parameter dari PID diskrit akan dipilih sebagai fungsi dari parameter *plant* yakni k_0, k_1, k_2 dan, k_3 yang akan menggantikan seluruh parameter konstanta dari PID diskrit. Maka bentuk *transfer function* dari PID diskrit yang akan digunakan akan menjadi:

$$\frac{u(q^{-1})}{e(q^{-1})} = \frac{k_1 + k_2 q^{-1} + k_3 q^{-2}}{(1 - q^{-1})(1 + k_0 q^{-1})} \quad (2.33)$$

Atau dalam bentuk transformasi z:



$$\frac{u(z)}{e(z)} = \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \quad (2.34)$$



Gambar 2.5 Diagram Blok *Plant* dengan Kendali PID Diskrit

Close-Loop Transfer Function (CLTF) dari gambar 2.5 diatas adalah:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\left(\frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \right) \left(\frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \right)}{1 + \left[\left(\frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \right) \left(\frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \right) \right]} \quad (2.35)$$

Jika dipilih $a_1 = \frac{k_2}{k_1}$, $a_2 = \frac{k_3}{k_1}$ dan $k_0 = \frac{b_1}{b_0}$ akan didapatkan persamaan:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1 - z^{-1})}}{1 + \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1 - z^{-1})}} \quad (2.36)$$

Dan bentuk fungsi alih CLTF akhir adalah seperti di bawah:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{1 + (k_1 b_0 - 1) z^{-1}} \quad (2.37)$$

Terlihat persamaan CLTF *plant* adalah orde satu, dengan bentuk orde 1 diskrit dibawah ini dimana fungsi *time constan* nilai parameter $k_1 * b_0$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{K \frac{T_s}{2\tau + T_s} z^{-1}}{1 + \frac{T_s - 2\tau}{T_s + 2\tau} z^{-1}} \quad (2.38)$$

Dengan:

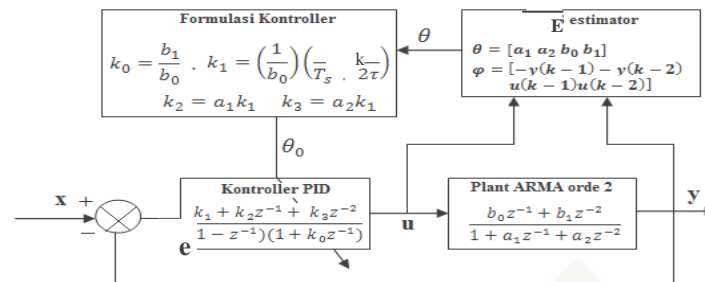
$$k_1 = \frac{1}{b_0} \frac{k T_s}{T_s + 2\tau} \quad (2.39)$$

Maka akan didapatkan nilai *Gain overall* (K) *plant* dan parameter-parameter k_0 , k_1 , k_2 dan k_3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_0 &= \frac{b_1}{b_0} \\ k_1 &= \left(\frac{1}{b_0} \right) \left(\frac{k T_s}{T_s + 2\tau} \right) \\ k_2 &= a_1 k_1 \\ k_3 &= a_2 k_1 \end{aligned}$$



Maka semua parameter kontroler PID telah ditemukan dalam bentuk parameter *plant* dan dalam bentuk orde 1, bentuk lengkap diagram blok STR dengan PID adaptif pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram Blok Perhitungan Parameter

Sinyal kendali yang akan diumpankan ke *plant* dalam bentuk persamaan yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} e \\
 u(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1}) &= e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}) \\
 u(1 + k_0 z^{-1} - z^{-1} - k_0 z^{-2}) &= e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}) \\
 u(1 + (k_0 - 1)z^{-1} - k_0 z^{-2}) &= k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2} \\
 u + (k_0 - 1)u z^{-1} - k_0 u z^{-2} &= k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2} \\
 u(k) + (k_0 - 1)u(k-1) - k_0 u(k-2) &= k_1 e + k_2 e(k-1) + k_3 e(k-2) \\
 u(k) &= -(k_0 - 1)u(k-1) + k_0 u(k-2) + k_1 e(k) + k_2 e(k-1) + k_3 e(k-2) \quad (2.40)
 \end{aligned}$$

2.10 Perangkat lunak MATLAB

Matlab merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory* yang berarti bahasa pemrograman tingkat tinggi (semakin tinggi tingkat bahasa pemrograman maka semakin mudah cara penggunaannya) dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkungan tunggal. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elemennya tanpa membutuhkan pendeklarasian *array*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.7 Tampilan Awal MATLAB

Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. Aplikasi Matlab ini banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu:

1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi agar fungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat digunakan kembali.
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

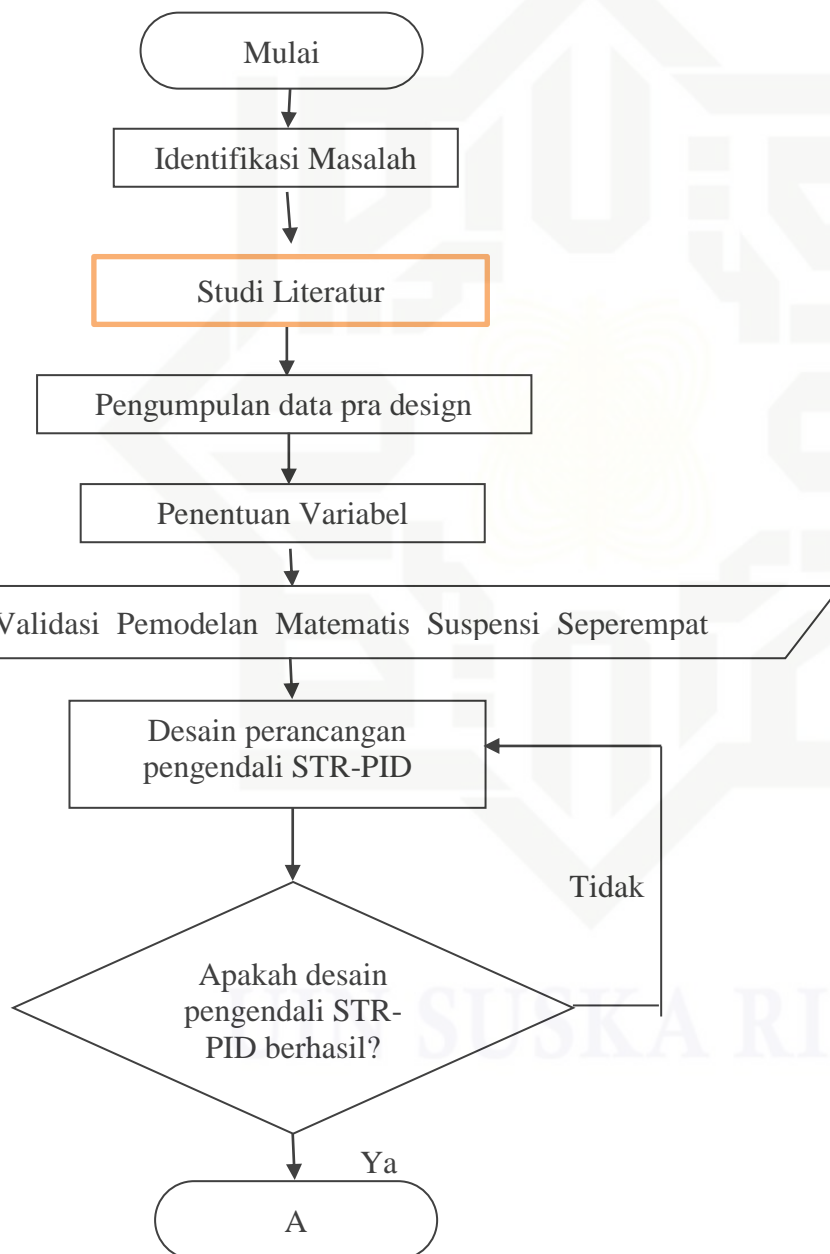


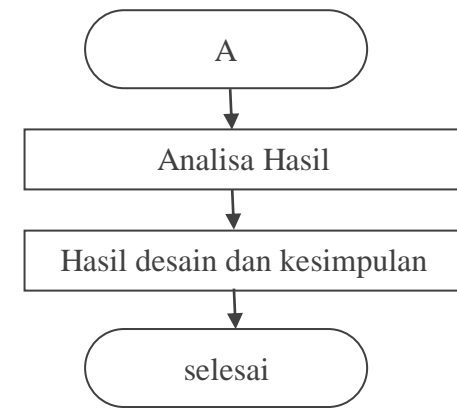
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan ataupun langkah-langkah yang penulis lakukan, agar mencapai tujuan yang diharapkan. Maka adapun tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Yang akan dilakukan pada penelitian agar dapat mencapai tujuan yang diharapkan meliputi perumusan masalah, penentuan judul, sampai tujuan yang diinginkan dari suatu penelitian yang dilakukan. Oleh karena itu, terdapat beberapa tahap perancangan yang harus dilakukan yaitu :

1. Identifikasi masalah

Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan identifikasi masalah dimana di sini mencari masalah apa yang akan diangkat dalam Tugas Akhir. Masalah yang akan diangkat adalah mendapatkan kecepatan yang stabil untuk sistem suspensi seperempat kendaraan saat diberikan gangguan.

2. Studi Literatur

Setelah mendapatkan masalah apa yang akan di angkat di Tugas Akhir ini, tahapan selanjutnya adalah studi literatur yaitu mencari dan mempelajari referensi yang terkait dengan tema yang dibahas pada penelitian Tugas Akhir ini, baik dari artikel penelitian yang telah dipublikasikan di internet mengenai permodelan matematis sistem suspensi model seperempat kendaraan dan pengendali *Self Tuning Regulator*(STR-PID)

3. Pengumpulan data pra design

Dari beberapa peneletian terkait yang sudah didapatkan, langkah selanjutnya yaitu pengumpulan data pra design. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan pemodelan matematis sistem suspense seperempat kendaraan dalam bentuk diskrit dengan model struktur ARMA orde 2 dan spesifikasi *output* kendali yang di inginkan dalam bentuk persamaan diskrit orde 1 dari sistem yang akan diteliti adalah meliputi *set point* yaitu 1 meter



4. Penentuan variabel

Setelah didapatkan nilai masing masing variabel pada tahap pengumpulan data selanjutnya disubsitusikan dalam model matematis berbentuk persamaan ARMA orde 2 yang berbentuk :

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0z^{-1}+b_1z^{-2}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$$

5. Validasi Pemodelan Matematis Suspensi Seperempat Kendaraan

Validasi model matematis dilakukan dengan cara menyimulasikan model matematis secara *open loop* menggunakan Simulink Matlab. Selanjutnya yaitu menyesuaikan respon sistem yang didapat dengan respon sistem yang dihasilkan dari penelitian terkait sebelumnya, lalu analisa respon *output* sistem tersebut.,

6. Design Perancangan Pengendali

Langkah selanjutnya adalah mendesign perancangan pengendali yang digunakan dalam Tugas Akhir ini yaitu melakukan perancangan pengendali STR-PID menggunakan algoritma estimasi *Extended Least Square* (ELS).

7. Analisa Hasil

Melakukan analisa hasil pengujian dan mengklarifikasi hasil tersebut terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Untuk mendapatkan klarifikasinya, kita bisa melakukan pencarian fokus pada nilai tujuan masalah yang terjadi yaitu *Maxium Overshoot* yang terdapat pada sistem kendali yang belum dikasih pengendali dan yang sudah diberikan pengendali. Apabila telah menemukan tujuannya yaitu mampu menghilangkan *overshoot* pada sistem dengan mendapatkan respon yang baik berarti penelitian telah berhasil, dan apabila belum memenuhi tujuan, maka perlu dilakukan pemeriksaan kembali pada perancangan pengendalinya.

8. Hasil desain dan kesimpulan

Setelah di analisa hasil sudah didapatkan dengan tujuan yang sesuai maka ditarik kesimpulan bahwa tema yang di usulkan dapat dijadikan sebagai judul penelitian pada Tugas Akhir ini dan dapat juga sebagai referensi kedepannya bagi yang meneliti tema tentang sistem suspensi model seperempat kendaraan

3.2 Penentuan Nilai Variabel

Data-data yang sudah didapatkan dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* berbentuk :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{bs + k}{ms^2 + bs + k}$$

$$G(s) = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{y(s)}{u(s)}$$

Dengan parameter *quarter car* adalah $m = 550 \text{ Kg}$, $b = 1250 \text{ Ns/m}$ dan $k = 22500 \text{ N/m}$.

Sehingga bentuk *transfer function* diatas dapat difungsi alihkan dari *Quarter Car* menjadi:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1250s + 22500}{550s^2 + 1250s + 22500} \quad (3.1)$$

Bentuk penyederhanan *transfer function* diatas dengan semua nilainya dibagi dengan 550 kg dengan nilai :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2.273s + 40.90}{s^2 + 2.273s + 40.90}$$

Didapatkan nilai sebagai berikut :

$$m = 1 \text{ kg}$$

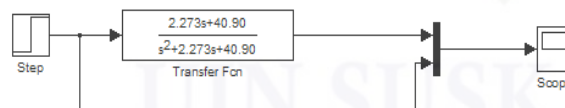
$$b = 2.273 \text{ Ns/m}$$

$$k = 40.90 \text{ N/m}$$

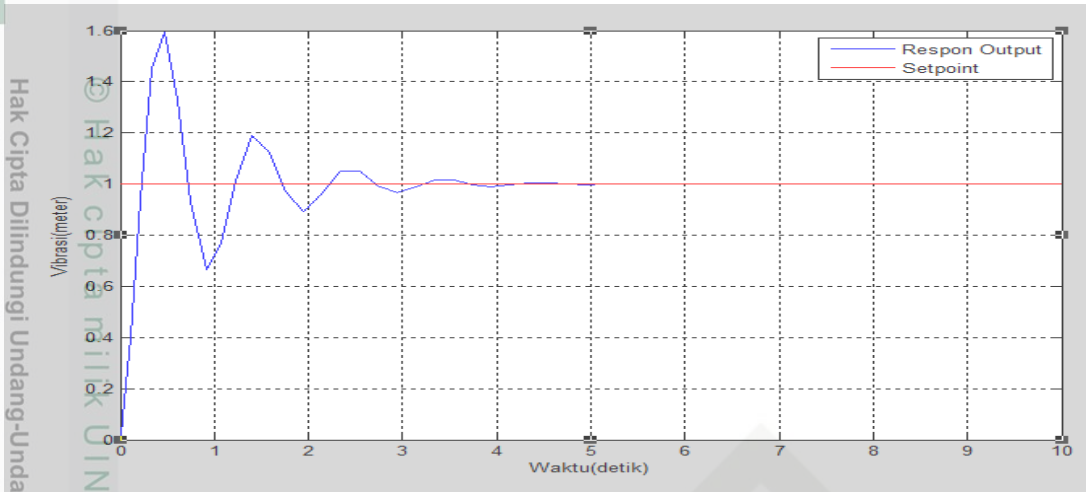
Nilai diatas didapatkan agar mempermudah mendapatkan nilai persamaan orde 2 dalam bentuk diskrit

3.3 Validasi Model Matematis

Untuk menguji kebenaran data-data yang telah dikumpulkan maka dilakukan simulasi. Simulasi ini menggunakan *software* matlab Simulink yang dilakukan secara *open loop* dengan *Set point* yang sudah ditentukan 1 meter, dengan cara memasukkan *transfer fungsi plant* kedalam blok diagram pada Simulink matlab.



Gambar 3.2 Rangkaian *Simulink Open Loop* Suspensi Seperempat kendaraan

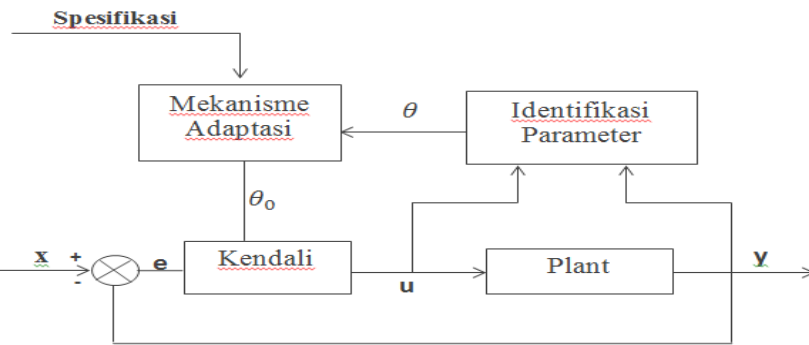


Gambar 3.3 Respon Sistem *Open Loop* Suspensi Seperempat Kendaraan (tanpa pengendali)

Gambar 3.6 merupakan hasil respon dari sistem suspensi seperempat kendaraan secara *open loop* tanpa menggunakan pengendali, yang disimulasikan menggunakan *matlab* dan hasil respon keluaran sistem menunjukkan grafik yang sama pada jurnal rujukan *Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspensi System using Genetic Algorithm* [3]. Terlihat bahwa hasil respon sistem ini menunjukkan pemodelan yang digunakan valid sesuai dengan hasil yang didapat oleh simulasi dari referensi jurnal sebelumnya [3]. Terlihat ketidak stabil mencapai *set point* dan terdapat *overshoot* yang cukup besar. Sehingga berdasarkan pengujian simulasi tanpa pengendali maka sistem suspensi seperempat kendaraan perlu dipasangkan pengendali yang dapat menghilangkan *overshoot* dan osilasi untuk menstabilkan sistem tersebut.

3.4 Perancangan kendali STR

Pada *plant* yang telah dirancang tersebut diatas akan diterapkan sebuah ilmu kendali yang disebut sebagai kendali adaptif. Pada tugas akhir ini salah satu skema(diagram blok) ilmu kendali adaptif yang akan dipakai adalah STR. Diagram dari STR memiliki 2 loop, loop pertama adalah standar *loop feedback* dan *loop* kedua adalah loop identifikasi dan desain performasi, untuk lebih jelasnya diagram blok STR pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Diagram Blok STR

Pada Gambar 3.4, terlihat ada 4 blok (komponen) utama yang membangun diagram *Self Tuning Regulator*, yakni yang pertama identifikasi parameter dari *plant* yang menggunakan algoritma identifikasi dalam bentuk diskrit agar *plant* memiliki sifat adaptif. Diagram STR ini di-estimasi dari parameter-parameter proses secara terus-menerus di-update dan parameter pengendali didapatkan dari solusi dengan menggunakan parameter estimasi. Yang kedua mekanisme adaptasi dimana blok ini merepresentasikan penyelesain desain dari parameter yang telah di identifikasi. Yang ketiga blok kendali dimana implementasi pengendali yang diberikan kepada objek dengan parameter-parameter yang didapatkan dari blok “mekanisme adaptasi” sehingga sistem ini bisa disebut otomatisasi proses estimasi dan desain karena model dari proses dan desain kendali diperbarui setiap saat.

3.4.1 Perancangan Plant

Plant yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah suspensi seperempat kendaraan. Hal pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui persamaan matematis (*transfer function*) dari *plant* lalu diubah menjadi persamaan diskrit. Dalam tugas akhir ini dipilih model struktur ARMA yang mendekati persamaan matematis *plant* yang harus memenuhi persamaan (2.7) :

$$a_0Y(k) + a_1Y(k-1) + a_2Y(k-2) + \dots + a_nY(k-n_A) = b_0X(k-d) + b_1X(k-d-1) + \dots + b_{n_B}X(k-d-n_B)$$

Struktur Arma orde 2 sendiri dapat di gambarkan secara singkat sebagai persamaan (2.9) :

$$y(z) = \frac{z^{-d}(b_0 + \dots + b_{n_B}z^{-n_B})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_nz^{-n_A}}$$



Sedangkan orde *plant* dipilih orde 2, sehingga menjadi persamaan (2.10) dan persamaan

(2.11):

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{z^{-1}(b_0 + b_1 z^{-1})}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

Dengan :

a_1, a_2 = Koefisien AR

b_0, b_1 = Koefisien MA

Dalam proses penurunan persamaan plant dalam ARMA orde 2, kita harus menentukan nilai a_1, a_2, b_0 dan b_1 sebagai hasil keluaran dari persamaan ARMA. Pengubahan nilai *Transfer Function* plant ke ARMA orde 2, dengan transformasi bilinear dengan persamaan (2.12) sebagai berikut:

$$S = \frac{2}{T_s} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

Dengan penentuan nilai T_s (*time sampling*) pada tranformasi bilinear harus sesuai dengan syarat berikut:

$$\frac{t_r}{10} \leq T_s \leq \frac{t_r}{2} \text{ dan } T_s < t_d$$

Dan $T_s < t_d$

Setelah itu menentukan nilai t_d (*time delay*) didapat dari data *open loop* yang telah dilakukan perbesaran gambar pada grafik simulasinya untuk memenuhi kondisi kedua dalam menentukan nilai T_s ,

Dimana nilai T_s untuk transformasi bilinear :

$$\frac{0.1934}{10} \text{ detik} \leq T_s \leq \frac{0.1934}{2} \text{ detik}$$

$$0.01934 \text{ detik} \leq T_s \leq 0.0967 \text{ detik dan } T_s < 0.1247 \text{ detik}$$

Maka nilai *time sampling* (T_s) yang akan digunakan pada transformasi bilinear mengikuti ketentuan yang cocok dengan hasil pada persama (2.12) maka dipilih T_s nya adalah 0.06 detik.

Kemudian subsitusikan kepersamaan (2.10) dan (2.11) ke persamaan (2.4) yang sudah di sederhanakan sehingga:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{2.273 \left(\frac{2}{T_s} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + 40.909}{1 \left(\frac{2}{T_s} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)^2 + 2.273 \left(\frac{2}{T_s} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + 40.909}$$



$$\begin{aligned}\frac{Y(z)}{X(z)} &= \frac{2.273 \left(\frac{2}{0.06} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 40.909}{1 \left(\frac{2}{0.06} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)^2 + 2.273 \left(\frac{2}{0.06} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 40.909} \\ \frac{Y(z)}{X(z)} &= \frac{2.273 \left(33.333 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 40.909}{1 \left(33.333 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)^2 + 2.273 \left(33.333 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 40.909} \\ \frac{Y(z)}{X(z)} &= \frac{75.765 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + 40.909}{1 \left(1.111.088 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 75.765 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + 40.909} \times (1+z^{-1})^2 \\ \frac{Y(z)}{X(z)} &= \frac{75.765 \times (1-z^{-1})(1+z^{-1}) + 40.909(1+z^{-1})^2}{1.111.088(1-z^{-1})^2 + 75.765 \times (1-z^{-1})(1+z^{-1}) + 40.909(1+z^{-1})^2}\end{aligned}$$

Dengan mengubah persama berikut :

$$(1+z^{-1})^2 = 1 + 2z^{-1} + z^{-2}$$

$$(1-z^{-1})^2 = 1 - 2z^{-1} + z^{-2}$$

$$(1-z^{-1})(1+z^{-1}) = 1 - z^{-2}$$

Menjadi :

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{75.765 \times (1 - z^{-2}) + 40.909(1 + 2z^{-1} + z^{-2})}{1.111.088(1 - 2z^{-1} + z^{-2}) + 75.765 \times (1 - z^{-2}) + 40.909(1 + 2z^{-1} + z^{-2})}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{116.674 + 81.818z^{-1} - 34.856z^{-2}}{1.227.762 - 2.140.358z^{-1} + 1.076.232z^{-2}}$$

$$\begin{aligned}1.227.762(Y(z)) - 2.140.358z^{-1}(Y(z)) + 1.076.232z^{-2}(Y(z)) \\ = 116.674(X(z)) + 81.818z^{-1}(X(z)) - 34.856z^{-2}(X(z))\end{aligned}$$

Untuk memenuhi persamaan :

$$\begin{aligned}a_0Y(k) + a_1Y(k-1) + a_2Y(k-2) + \dots + a_nY(k-n_A) \\ = b_0X(k-d) + b_1X(k-d-1)\end{aligned}$$

$$a_0Y(k) = -a_1Y(k-1) - a_2Y(k-2) + b_0X(k-d) + b_1X(k-d-1)$$

Menjadi :

$$\begin{aligned}1.227.762(Y(k)) \\ = 2.140.358(Y(k-1)) - 1.076.232(Y(k-2)) + 81.818(X(k-1)) \\ - 34.856(X(k-2))\end{aligned}$$



$$Y(K) = \frac{2.140.358(Y(k-1))}{1.227.762} - \frac{1.076,232(Y(k-2))}{1.227.762} + \frac{81.818(X(k-1))}{1.227.762} - \frac{34.856(X(k-2))}{1.227.762}$$

$$Y(k) = 1.743z^{-1} - 0.876z^{-2} + 0.066z^{-1} + 0.028z^{-2}$$

Sehingga didapat persamaan ARMA orde 2 :

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0z^{-1}+b_1z^{-2}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$$

Dengan nilai a_1, a_2, b_0, b_1 sebagai berikut :

$$a_1 = -1.743$$

$$a_2 = 0.876$$

$$b_0 = 0.066$$

$$b_1 = 0.028$$

Menjadi :

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{0.066 + 0.028z^{-2}}{1 - 1.743z^{-1} + 0.876z^{-2}}$$

Dari Persamaan (2.9), diatas terlihat ada parameter yang harus dicari nilainya (diestimasi) agar persamaan tersebut memberikan respon yang sama dengan respon *plant*.

3.4.2 Identifikasi Parameter

Untuk mencari nilai parameter dari *plant* seperti yang telah diuraikan diatas, maka diperlukan sebuah metode/algortma tertentu. Pada tugas akhir ini dipilih algortma ELS yang merupakan modifikasi dari algortma RLS. Identifikasi dilakukan secara *online* sehingga setiap terjadi perubahan pada *plant* nilai parameter kendali akan di *update* agar respon *output* sesuai dengan yang diinginkan. Dari model pendekatan ARMA akan dipilih nilai θ sebagai parameter estimasi.

Dengan vektor parameter:

$$\theta = [a_1 a_2 b_0 b_1]$$

Menjadi:

$$\theta = [-1.743 \quad 0.876 \quad 0.066 \quad 0.028]$$

Dan vektor regresi menggunakan persamaan (2.18):



$$1) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -u(k-1), u(k-2)]$$

Persamaan diatas adalah bentuk persamaan algoritma estimasi *Extended Least Square* (ELS) .

3.4.3 Mekanisme Adaptasi dan Desain Kendali

Dua blok terakhir dari diagram STR adalah blok mekanisme adaptasi dan blok controller. Uraian kedua blok ini digabung menjadi satu karena saat pendesainan kendali juga secara tidak langsung akan memformulasikan persamaan untuk mekanisme adaptasi. Pada desain STR ini digunakan kendali PID diskrit, sehingga mampu mengendalikan *plant* agar memiliki respon yang dikehendaki. Sebelum desain kendali PID diskrit maka ditentukan dulu nilai K dan τ agar respon output pengendali sesuai yang diinginkan maka ditentukan terlebih dahulu spesifikasi desain agar respon sistem atau *plant* sesuai dengan yang di inginkan.

Spesifikasi yang diinginkan adalah sebagai berikut:

$$K = 1$$

$$T_s = 0.07 \text{ detik}$$

$$\tau = 2.25 \text{ detik}$$

Dalam mendesain blok kontroler untuk kendali PID diskrit parameter-parameter yang digunakan adalah k_0, k_1, k_2 dan k_3 dengan penentuan nilai tiap parameter sebagai berikut:

$$k_0 = \frac{b_1}{b_0}$$

$$k_1 = \left(\frac{1}{b_0} \right) \left(\frac{k T_s}{T_s + 2\tau} \right)$$

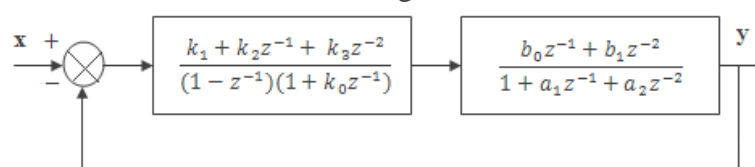
$$k_2 = a_1 k_1$$

$$k_3 = a_2 k_1$$

Maka parameter kontroler PID telah ditemukan dalam bentuk parameter *plant* dan dalam sinyal kendali yang akan diumpankan ke *plant* dalam bentuk persamaan (2.40):

$$u(k) = -(k_0 - 1)u(k-1) + k_0 u(k-2) + k_1 e(k) + k_2 e(k-1) + k_3 e(k-2)$$

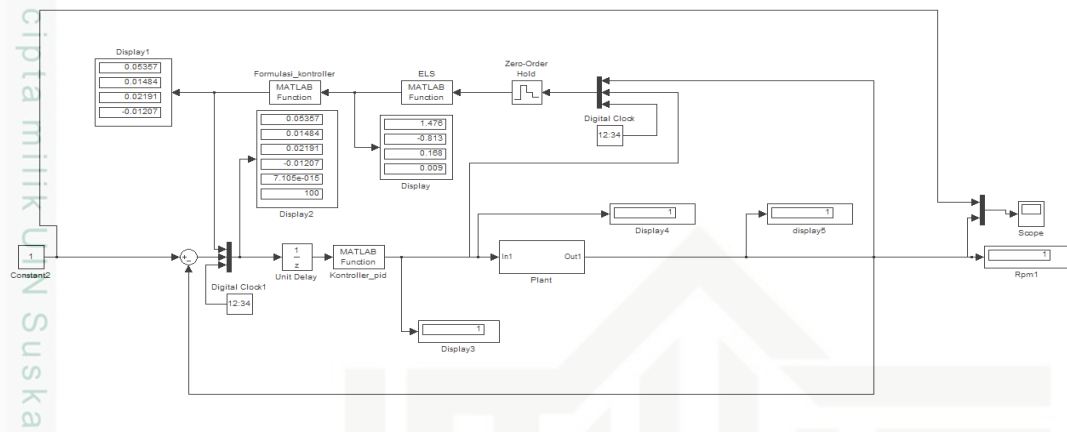
Persamaan diatas adalah persamaan untuk mencari nilai (u) *output* kendali PID diskrit pada STR-PID dimana dimasukkan kedalam blok diagram Kontroller PID.



Gambar 3.5 Diagram Blok Kendali PID diskrit



Setelah mendapatkan nilai plant dan nilai estimasi ELS dalam bentuk persamaan ARMA orde 2, maka langkah selanjutnya dapat langsung disimulasikan kedalam bentuk blok simulasi diagram STR-PID pada gambar 3.5 dan nilainya dimasukkan kedalam simulasi matlab dengan software Matlab 2010a.



Gambar 3.6 Blok diagram Simulink STR-PID

3.5 Analisis yang akan dilakukan

Analisis yang akan dilakukan setelah menambahkan pengendali STR pada pengendali PID adalah terlihat setelah menambahkan pengendali STR, STR mampu menghasilkan performansi yang bagus pada pengendali PID dimana STR dapat merevisi nilai parameter PID sehingga STR dapat beradaptasi untuk mengikuti perubahan parameter struktur sistem. Terlihat dari performansi STR dalam mengatasi terjadi *overshoot*. Pada saat pengendali PID mengendalikan sistem suspense seperempat kendaraan masih banyak performansi pengendali PID belum dapat mengatasi *overshoot* yang ada, walaupun terlihat dari percepatan waktu *risetime* pada PID sangat cepat namun masih terjadi *overshoot* yang membuat sistem tidak stabil, Maka dari itu STR ditambahkan untuk mengatasi masalah pada PID, terlihat pengaruh STR didalam PID dapat membantu PID untuk mengendalikan perubahan nilai parameternya sehingga *overshoot* yang terjadi pada sistem dapat diatasi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang didapat, dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan pengendali STR-PID, pengendali berhasil menghasilkan keluaran yang mencapai *setpoint* yang diberikan, dengan respon sebelumnya mempunyai *overshoot* diawal berhasil diredam dengan nilai 60% menjadi 0% dan osilasi yang terjadi pada *open loop* berhasil dihilangkan dengan respon output mengikuti nilai *setpoint* yg diberikan. STR-PID juga memperlihatkan respon yang baik saat diberikan gangguan. Pengendali STR-PID dapat mengembalikan posisi *setpoint* yang diberikan setelah diberikan gangguan pada menit 40 dan kembali stabil selama 7.5 detik..

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, masih terdapat *rise time* yang lama pada pengendali STR-PID dengan metode ARMA orde 2 dengan estimasi PID menggunakan algoritma ELS.,sehinggah disarankan untuk penelitian yang ingin melanjutkannya dapat menggunakan metode atau algoritma lainnya agar dapat menghasilkan respon sesuai yg diinginkan.



DAFTAR PUSTAKA

- [11] Wahyudi Rudy S. “*Perancangan kendali Suspensi Aktif*”. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Industri, Universitas Trisakti, 2016.
- [12] Ariyanto, Andi. “*Analisis Kestabilan Sistem Suspense Mobil Seperempat Kendaraan Dengan Metode Lyapunov Langsung*”. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2015.
- [31] Rohmad, *Desain dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan PID dan Logika*, Universitas Negeri Semarang, 2014
- [41] Nitish Katal, Sanjay Kr. Singh, *Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspension System Using Genetic Algorithm*, International Jurnal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, 2012
- [51] Sunarno, Rohmad, *Simulasi dan Analisis Respon Fuzzy Logic Controller pada Sistem Suspensi Menggunakan PID dan Logika Fuzzy dengan Simulink MATLAB*, Universitas Negeri Semarang, 2015
- [61] Rajkumar B, Lakshmi P, Rajendiran S, *Vibration Control of Quarter Car Integrated Seat Suspension With Driver Model for Different Road Profiles using Fuzzy based Sliding Mode Controller*, Seventh International Conference on Advanced Computing, 2015
- [71] A.Vireza, M.A.Muslim and G.D.Nugroho. “*Identifikasi Self Tuning PID Kontroler Metode Backward Rectangular Pada Motor DC*”. 2014.
- [81] Kurniawan, Rahmat Andi. “*Pengendalian Posisi Sistem Magnetic Levitation Ball Menggunakan PID Gain Scheduling*”. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2016.
- [91] Suyanto and Miftahuddin. “*Penerapan PID Controller Pada Sistem Pengendalian Temperatur Pada Proses Pembuatan Kaca Lembaran di PT. Asahimas Flat Glass, Tbk Sidoarjo*”. Institut Teknologi Sepuluh November. 2009.
- [10] E.Iskandar. “*Sistem Pengaturan Adaptif*”. ITS. 2012.
- [11] S.Bahera, M.Jyotiranjana and B.B.Pati. “*Optimal Pole Placement for a Self Tuning PID Controller*”. IEEE. India. 2017
- [12] Masatoshi, Anabuki and Hiroshi Hirata . ”*Self-Tuning Control For Rotational Inverted Pendulum By Eigenvalue Approach*”. Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Thailand. 2004

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



[13] P. Sathishkumar, J. Jancirani, Dennie John, S. Manikandan, *Mathematical Modelling and Simulation Quarter Car Vehicle Suspension*, Anna University, 2014

[14] Abd El-Nasser S. Ahmed, Ahmed S. Ali, Nouby M. Ghazaly, G. T. Abd el-Jaber, *PID Controller of Active Suspension System For a Quarter Car Model*

[15] P. Dowds, A O'Dwyer, *Modelling and Control of a Suspension System for Vehicle Application*, Dublin Institute of Technology, 2005

[16] Rudy S. Wahjudi, *Perancangan Kendali Suspensi Aktif*, Universitas Trisakti, 2016

[17] Oni Bagus, Sumardi, Aris Triwiyatno, *Desain Auto Tuning PID Menggunakan Logika Fuzzy Pada Sistem Suspensi Aktif Tipe Paralel Non Linear Model Kendaraan Seperempat*, Universitas Diponegoro Semarang, 2013

[18] Wibowo, *Perancangan Karakteristik Sistem Suspensi Semi Aktif Untuk Meningkatkan Kenyamanan Kendaraan*, UNS, 2011

[19] H.Mudia. "Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Adaptif pada Pengatur Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa".ITS.2015

[20] D.A.Yakin . " Simulasi Implementasi Self Tuning Regulator Pada Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap Untuk Pengendalian Frekuensi Keluaran Generator Dengan Menggunakan MATLAB". UISI. 2016

[21] Babu V, Madhu ., Das, Kaushik., Kumar, Swagat. "Designing of Self Tuning PID Controller for AR Drone Quadrotor" TCS Innovation Lab., Bangalore, India

[22] J.G.Williams dkk. "Design And Implementation of On-Line Self-Tuning Control for PEM Fuel Cells". Vol 2. University of Glamorgan.UK.2008

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

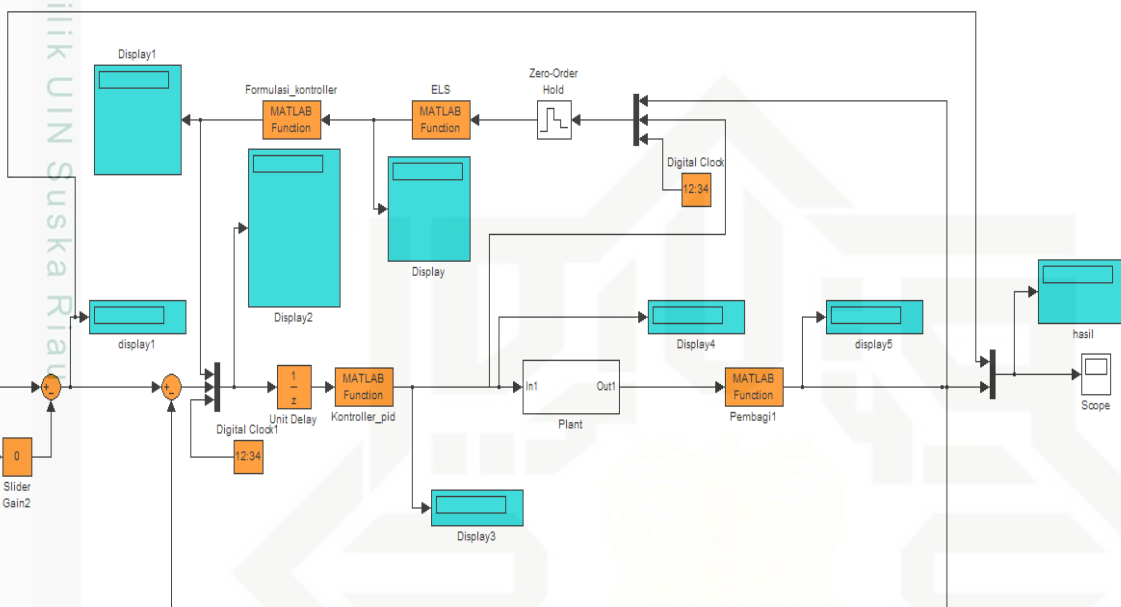
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

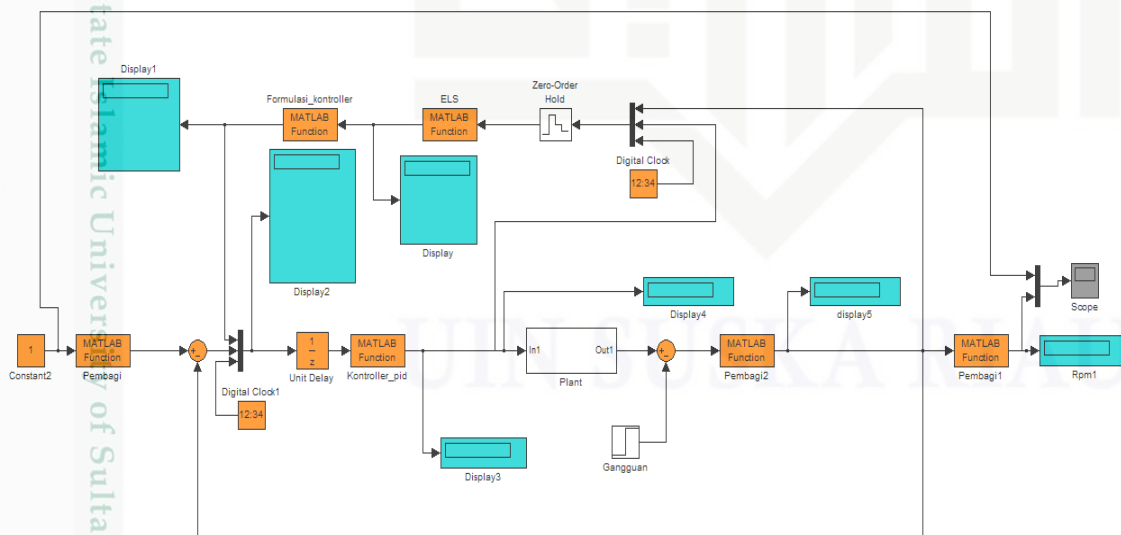
LAMPIRAN

LAMPIRAN A : Perancangan Blok Simulinkl pada Matlab

Block Simulinkl Blok Simulink STR-PID ketika mencapai *Set Point* Pada Sistem Suspensi Seperempat kendaraan



Blok Simulinkl STR-PID saat diberikan gangguan pada Suspensi Seperempat Kendaraan sebesar 10% dari Setpoint



1. Dilarang menyalin atau menjiplak sebagian atau seluruh isi dokumen ini tanpa izin tertulis dari Pemerintah Kabupaten Bantul.

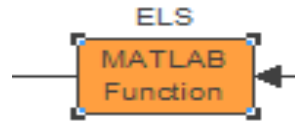
125
Consta
300
Consta

Di larang men gungutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengacukan sumber. B

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



LAMPIRAN B : Program M-File Pada blok Simulink Program M-File dari Bbok ELS



```
function Doutput=DBismillah2(Ddata)
global tep xk yk tetha_p vip lamda_p alfa1 alfa2
tep=Ddata(3);
if tep==0
    alfa1=1;
    alfa2=2;
    tetha_p=[-1.743; 0.876; 0.066; 0.028];
    vip=[0;0;0;0];
    lamda_p=0.05*eye(4,4);
    xk=[0;0;0];
    yk=[0;0;0];
end
xk(1)=Ddata(1);
yk(1)=Ddata(2);
for i=1:2
    vip(i)=-yk(i+1);
end
for i=3:4
    j=i-2;
    vip(i)=xk(j+1);
end
tetha_p=tetha_p+lamda_p*(yk(1)-vip*tetha_p)*vip;
Doutput(1)=tetha_p(1);
Doutput(2)=tetha_p(2);
Doutput(3)=tetha_p(3);
Doutput(4)=tetha_p(4);
lamda_p=(1/alfa1)*(lamda_p-
(lamda_p*vip*(vip)*lamda_p/(alfa2*(1+(vip*lamda_p*vip)))));
```

1. Dilarang mengutip atau menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber yang bersangkutan.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Program M-File pada blok Formulasi Kontroller

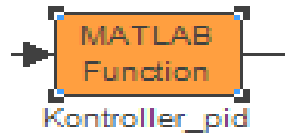


```
function Bk_all=Bformulasi_kontroller(Bdata)
global Ba1 Ba2 Bb0 Bb1 BTs Btau Bk0 Bk1 Bk2 Bk3 taubintang
Ba1=Bdata(1);
Ba2=Bdata(2);
Bb0=Bdata(3);
Bb1=Bdata(4);
BTs=0.05;
Btau=1.5;
if Bb0==0
    Bb0=0.01;
end
if Bb1==0
    Bb1=0.01;
end
if Ba1==0
    Ba1=0.01;
end
if Ba2==0
    Ba2=0.01;
end
Bk0=Bb1/Bb0;
Bk1=(1/Bb0)*(1*BTs/(2*Btau+BTs));
Bk2=Ba1*Bk1;
Bk3=Ba2*Bk1;
Bk_all(1)=Bk0;
Bk_all(2)=Bk1;
Bk_all(3)=Bk2;
Bk_all(4)=Bk3;
```

1. Dilarang mengutip atau menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Program M-File pada blok Kontroller PID



```
function Cukk=Ckontroller_pid1(Cdata)
global te Cekm2 Cek Cekm1 Cuk Cukm1 Cukm2 Ck0 Ck1 Ck2 Ck3
te=Cdata(6);
if te==0
    Cek=0;
    Cekm1=0;
    Cekm2=0;
    Cuk=0;
    Cukm1=0;
    Cukm2=0;
else
    Ck0=Cdata(1);
    Ck1=Cdata(2);
    Ck2=Cdata(3);
    Ck3=Cdata(4);
    Cek=Cdata(5);
    Cekm2=Cekm1;
    Cekm1=Cek;
    Cukm2=Cukm1;
    Cukm1=Cuk;
    Cuk=-((Ck0-1)*Cukm1+Ck0*Cukm2+Ck1*Cek+Ck2*Cekm1+Ck3*Cekm2);
end
Cukk=Cuk;
```

1. Dilarang mengutip atau menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengutip atau menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.